

УДК 620.179

RESEARCH OF THE SIGNAL ANALYSIS TIME IMPACT ON PULSED EDDY CURRENT TESTING RESULTS

Kuts Y., Lysenko I., Dugin O.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

E-mail: j.lysenko@kpi.ua

The pace of development of information-measuring technologies and digital signal processing methods creates conditions for improvement of processing information signals methods for non-destructive testing. This general tendency is also observed in eddy current testing (ECT). Among the most important tasks for ECT are raising the level of information and implementing multi-parameter testing mode [1, 2]. One of the essential methods of solving these problems is related to the use of a pulsed excitation mode of eddy currents [3, 4]. It is based on the influence through the eddy current probe (ECP) pulsed signal to the testing object (TO), the formation of the ECP - TO system response presented in the form of damping harmonic oscillation. The further estimation of the TO parameters and the characteristics of its material is based on such informative parameters of the ECP signal as the decrement of the oscillatory signal and the frequency of natural oscillations. Application of the ECP signal processing method based on the Hilbert discrete transform makes it possible to obtain the amplitude and phase characteristics of this signal (ACS and PCS), which greatly simplifies the further evaluation of their informative parameters. The process of estimating the ECP signals parameters due to the peculiarities of computational effects and to the effects of noise and interference of various nature is accompanied by an error. The procedure error is determined by the peculiarities of the used digital signal processing methods and receiving data modes [5].

Recent studies [6] show that the material conductivity can change due to changes in its microstructure and mechanical characteristics that occur as a result of operating the TO from this material. Besides, previous experimental studies [4] have found that a change in the electrical conductivity of TO material influences the signal value of the ECP in a pulsed excitation mode. Thus, improving the determination accuracy of the decrement of the ECT signals, represented by damping harmonic oscillations, by choosing the optimal time interval for the analysis of this signal is an open and pressing question. The purpose of this research is to study the influence of the analysis time of signals obtained in pulsed ECT and presented in the damping harmonic oscillations form on the error of determination of decrement of that signals.

This goal is achieved by representation the model for ECP signal by an additive mixture of damping harmonic oscillation and Gaussian noise:

$$u_{\text{всп}}(t) = U \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + u_{\text{ш}}(t), t \in (t_1, t_2) \quad (1)$$

where U – the amplitude value of the ECP signal, α – signal decrement, f – natural oscillation frequency, t – current time, (t_1, t_2) – the time ECP signal analysis interval, $u_{\text{ш}}(t)$ – a noise component of a signal that was considered as a Gaussian random process

with zero mathematical expectation and variance σ^2 . In the research, determining the decrement α of the ECP signal has been performed using the methods of regression analysis [7], and the accuracy of its determination was evaluated [8].

Analysis of the results showed that it is advisable to select for analysis the middle part of this signal, that has the smallest variance value, in order to minimize the error in determining the ECP signal decrement.

According to the results of a series of model experiments in the amount of 100, It has been obtained that the deviation in the decrement value of the probe signal, calculated by the lines of ACS regression, from the initial one at modeling is not more than 2.5%. In the case of decrement determination by taking into account the optimal time of analysis, the error has not exceeded 1.5%.

The results of a study of the influence of the time duration for analysis of the attenuating harmonic signal on the error of determining the decrement of this signal have been given in this presentation. The simulation results show that it is advisable to select the signal analysis time equal to or close to the optimum time [8, 9] and in the average part of the attenuating probe signal. This approach minimizes the error in the determination of the ECP signal decrement, and the error has not exceeded 1.5% according to simulation results.

The obtained results confirm the possibility of using the proposed method of improving the accuracy of determining the ECT signal decrement based on using the nonlinear trend of ACS. Given that signal decrement values are very sensitive to noise, the proposed method of improving the determination accuracy of ECT signal decrement can be applied to signals with a low signal to noise ratio.

Keywords: eddy current testing, pulse excitation mode, signal analysis time, frequency, decrement, signal attenuation.

References:

- [1] А. Я. Тетерко, та З. Т. Назарчук, «Селективна вихрострумова дефектоскопія». Львів, Україна: НАН України, Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2004.
- [2] В. М. Учанін, *Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання*. Львів, Україна: СПОЛОМ, 2013.
- [3] I. D. Adewale, and G. Y. Tian, “Decoupling the Influence of Permeability and Conductivity in Pulsed Eddy-Current Measurements”, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no. 3, pp. 1119-1127, 2013.
- [4] Ю. Ю. Лисенко, Ю. В. Куц, А. Г. Протасов, та О. Л. Дугін, “Застосування накладних перетворювачів в імпульсному вихрострумовому контролі”, *Вісник НТУУ «КПІ»: Серія приладобудування*, № 51, с. 58–63, 2016.
- [5] JCGM/WG 1. (September 2008). Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. [Online]. Available: <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [6] O. Ostash, V. Uchanin, O. Semenets, Y. Holovatyuk, L. Kovalchuk, and V. Derecha, “Evaluation of Aluminium Alloys Degradation in Aging Aircraft”, *Research in Nondestructive Evaluation*, vol. 29, iss. 3, pp. 156-166, 2018.
- [7] Ю. В. Куц, та Л. М. Щербак, *Статична фазометрія*. Тернопіль, Україна: ТТУ ім. І. Пулюя, 2009.
- [8] Y. Kuts, A. Protasov, I. Lysenko, and O. Dugin, “Analysis of the uncertainty of measurement in pulsed eddy current signal evaluation”, *The e-Journal of NDT*, vol. 23, iss. 8, pp. 1-8, 2018.
- [9] I. Lysenko, Y. Kuts, A. Protasov, and A. Alexiev, “Optimization of Analysis Time of Pulsed Eddy

Current Non-destructive Testing Signals”, *Int. Jour. “NDT Days”*, vol. 2, iss. 1, pp. 58-63, 2019.

- [10] S. Maievskiy, I. Lysenko, Y. Kuts, A. Protasov, and O. Dugin, “Study of Parametric Transducer Operation in Pulsed Eddy Current Non-Destructive Testing”, in *Proc. 2018 IEEE Int. Conf. on Electronics and Nanotechnology*, Kyiv, 2018, pp.594 – 597.

УДК 621.391:519.72

ДИСПЕРСІЯ ОЦІНКИ ВЗАЄМОСПЕКТРАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ

^{1,2)}Яворський І. М., ^{1,3)}Юзефович Р. М., ¹⁾Мацько І. Й., ¹⁾Трохим Г. Р., ^{1,3)}Курапов П. Р.

¹⁾Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, відділ методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, Львів, Україна

²⁾Технологічно-природничий університет, Інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

³⁾Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

E-mail: roman.yuzefovych@gmail.com

Взаємний спектральний аналіз сигналів, відібраних у різних точках механічної системи, дозволяє досліджувати залежності між гармонічними складовими вібрацій і завдяки цьому більш успішно розв’язувати задачі локалізації та типізації дефектів [1].

Оцінювання взаємоспектральних характеристик за експериментальними даними здійснюють як за періодограмним, так і корелограмним методами [2]. За останнім оцінки взаємоспектральних характеристик знаходяться на основі інтегральних перетворень Фур’є згладжених оцінок взаємоспектральних характеристик. Для оцінки взаємоспектральної густини маємо:

$$\hat{f}_{\xi\eta}(\omega, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{b}_{\xi\eta}(t, u) k(u) e^{-i\omega u} du, \quad (1)$$

де $k(u)$ – функція вікна: $k(-u) = k(u)$, $k(0) = 1$, $k(u) = 0$, при $|u| > u_m$, u_m – точка усічення корелограми. Для оцінки (1) дисперсія визначається формулою:

$$D[\hat{f}_{\xi\eta}(\omega, t)] = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-u_m}^{u_m} \int_{-u_m}^{u_m} R_{\hat{b}_{\xi\eta}}(t, u_1, u_2) e^{i\omega(u_2 - u_1)} du_1 du_2,$$

де $R_{\hat{b}_{\xi\eta}}(t, u_1, u_2) = E\hat{b}_{\xi\eta}(t, u_1)\hat{b}_{\xi\eta}(t, u_2) - E\hat{b}_{\xi\eta}(t, u_1)E\hat{b}_{\xi\eta}(t, u_2)$.

Встановлено, що при заданій довжині відрізка реалізації θ дисперсія оцінки спектральної густини (1) буде зменшуватися зі зменшенням ширини кореляційного вікна. Вибір параметрів u_m і θ слід проводити, виходячи з конкретної мети спектрального аналізу.

Ключові слова: періодично корельовані випадкові сигнали, взаємний спектральний аналіз, довжина реалізації, кореляційне вікно.

Література

- [1] Ihor Javorskyj, Ihor Kravets, Ivan Matsko, Roman Yuzefovych, «Periodically correlated random processes: Application in early diagnostics of mechanical systems», *Mechanical*